

机械工人活叶学习材料

JIXIE GONGREN HUOYE XUEXI CAILIAO



技术测量

2

螺 紋 公 差

盛 庆 椿 編 著



机 械 工 业 出 版 社

333415

中国工业技术出版社

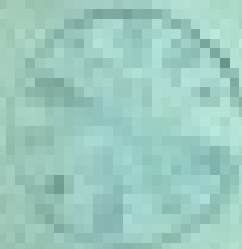


机械工业出版社

技术图书

螺 紋 公 差

（ 第 二 版 ）



机械工业出版社

內容提要 在机器制造业中，經常会遇到各种各样的、大小不同的帶有螺紋的零件。按照螺紋的用途，大体上可分为两类：緊固螺紋和傳动螺紋。

要使螺紋具有互換性，那末在制造时，螺紋必須按照一定的形状、尺寸和公差来加工。关于螺紋的形状、尺寸和公差是已經标准化了的：国家标准 GB 192-63~197-63 規定了普通螺紋的牙型、基本尺寸和公差，机械工业通用标准 JB 107-60 規定了梯形螺紋的牙型和基本尺寸，机床专业标准 GC 101-60 規定了梯形螺紋絲杠、螺母的公差标准。在这本小冊子里将要介紹这些标准。

本书可供三四級机械工人、檢驗工閱讀。

螺 紋 公 差

(修訂第二版)

盛 庆 椿 編 著

*

机械工业出版社出版 (北京蘇州胡同 141 号)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印張 $1 \frac{3}{4}$ · 字数 40 千字

1960 年 7 月北京第一版

1965 年 8 月北京第二版 · 1965 年 8 月北京第二次印刷

印数 10,342—65,342 · 定价 (科二) 0.17 元

*

統一书号: T15033 · 2193(3359)

目 次

一 螺紋的各个主要部分的名称	1
二 螺紋的互換性	4
1 螺距偏差(5)——2 牙型半角偏差(7)——3 实际中徑偏差(11) ——4 作用中徑(11)——5 外徑和內徑偏差(14)——6 簡短的小結(15)	
三 普通螺紋	17
1 螺紋公差带的配置(17)——2 中徑公差和精度等級(19)—— 3 內徑公差和外徑公差(23)——4 螺紋精度等級的应用(26)—— 5 螺紋尺寸、精度的代号和公差表格的应用(27)	
四 梯形螺紋	34
1 梯形螺紋的牙型(34)——2 梯形螺紋絲杠、螺母的精度等級 和应用范围(36)——3 絲杠、螺母的精度要求和公差带位置的 配置(37)——4 梯形螺紋公差表格的应用(45)	

附录

附表 1 0.25~0.9毫米普通螺紋公差	49
附表 2 1~68毫米粗牙普通螺紋公差	49
附表 3 1~300毫米細牙普通螺紋公差	50
附表 4 梯形螺紋螺母公差	52
附表 5 梯形螺紋絲杠外徑、中徑、內徑公差	54
附表 6 絲杠的螺距允差	55
附表 7 絲杠的牙型半角允差	55
附表 8 絲杠的中徑橢圓度允差	55
附表 9 絲杠的外徑跳动允差	55

一 螺紋的各个主要部分的名稱

螺紋的輪廓形状比較复杂，我們先介紹一下关于螺紋的各个主要部分的名稱：

1. 外螺紋 凡是刻在零件外表面上的螺紋就叫外螺紋，像螺栓、絲杠、管子上的螺紋都是外螺紋。

2. 內螺紋 凡是刻在零件內表面上的螺紋就叫內螺紋，像六角螺母、絲杠螺母、管接头上的螺紋都是內螺紋。

3. 螺紋牙型 是軸向最大剖面的螺紋形状，如图1a。但是为了更加清楚而簡單地表示出螺紋連接件的各个主要部分的尺寸，我們通常取图1a的上半部的 $\frac{1}{2}$ 部分，放大了画出来，如图1b所示，图中的粗实綫为普通螺紋的公称牙型。

对于內螺紋和外螺紋，它們每一部分的公称尺寸都是相同的。

4. 螺距 t 相邻两牙平行侧面間沿軸綫方向的距离(图1a、b、c、d)。

对于多头螺紋，應該分清楚[螺距]和[导程]这两个名詞。[导程]是指：螺栓轉一整轉而螺母不动时，螺栓沿軸綫方向移动的距离。对于单头螺紋，这两个名詞的实质相同。对于多头螺紋，导程等于螺距和螺紋头数的乘积。

5. 螺紋牙型角 α 在螺紋牙型上，牙型兩側边所夾的角度。对于公制的普通螺紋， α 規定为 60° 。

6. 螺紋牙型半角 $\frac{\alpha}{2}$ 螺紋軸綫的垂綫与牙型側边間的夾角。对于公制的普通螺紋， $\frac{\alpha}{2}$ 就等于 30° 。

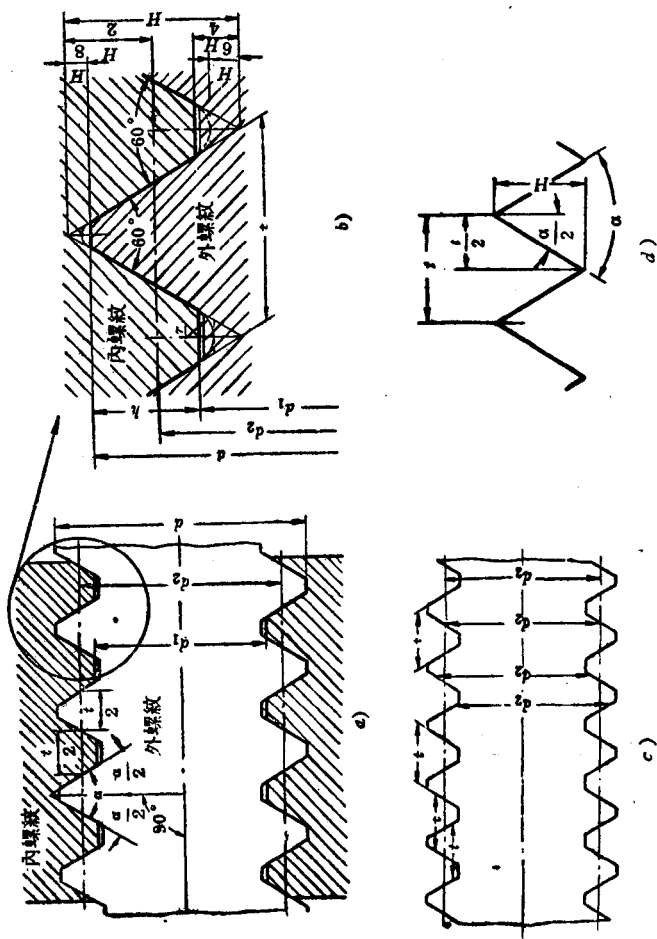


图1 普通螺纹牙型:

螺纹外圆为 d ; 螺距为 t ; 螺紋中徑 $d_2 = d - 0.6495t$; 螺紋內徑 $d_1 = d - 1.0825t$;
原始三角形高度 $H = 0.866t$; 公称工作高度 $h = 0.5413t$ 。

7. 螺紋原始三角形 普通螺紋的牙型,基本上是由三角形構成的,這就是螺紋的原始三角形,普通螺紋的原始三角形是一個等邊三角形,螺紋牙型上各部位的尺寸按這個等邊三角形來計算。等邊三角形的邊長為 t (GB 193-63 規定的螺距),高為 H 。 t 與 H 有一定的關係 (參見圖 1 d),對於 $\alpha = 60^\circ$ 的普通螺紋, H 等於:

$$H = \frac{\frac{t}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{t}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{t}{2 \operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{t}{2 \times \frac{1}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} t = \frac{1.732}{2} t = 0.866 t。$$

8. 螺紋外徑 d 在外螺紋上,牙頂的圓柱面直徑就是外螺紋的外徑。在內螺紋上,槽底的圓柱面直徑就是內螺紋的外徑。

公制普通螺紋的螺紋外徑 d 為 GB 193-63 規定的公稱直徑,其位置在等邊三角形上部 $\frac{H}{8}$ 削平處。但是,內螺紋牙型槽底允許呈圓弧狀,如圖 1 b 中細實綫所示。

9. 螺紋內徑 d_1 在內螺紋上,牙頂的圓柱面直徑就是內螺紋的內徑。在外螺紋上,槽底的圓柱面直徑就是外螺紋的內徑。

公制普通螺紋的內徑 d_1 , 公稱位置在等邊三角形下部 $\frac{H}{4}$ 削平處。國家標準對於外螺紋牙型槽底形狀沒有規定,製造和繪制時可在等邊三角形下部 $\frac{H}{6}$ 處削平或倒圓,圓角半徑 $r = \frac{H}{6} = \frac{1}{6} \times 0.866 t = 0.1443 t$, 如圖 1 b 中虛綫所示。

普通螺紋內徑 d_1 的公稱尺寸與外徑 d 的公稱尺寸之間有一定的關係:

$$\begin{aligned} d_1 &= d - 2h = d - 2 \times \left(H - \frac{H}{8} - \frac{H}{4} \right) = d - 2 \times \left(\frac{5}{8} H \right) \\ &= d - \frac{5}{4} H = d - \frac{5}{4} \times 0.866 t = d - 1.0825 t。 \end{aligned}$$

10. 螺紋中徑 d_2 是一個假想的圓柱面直徑，這個圓柱面剛好使得螺紋凸出部分的寬度 $\left(\frac{t}{2}\right)$ 與溝槽部分的寬度 $\left(\frac{t}{2}\right)$ 相等。這個定義很重要，它說明螺紋中徑的尺寸，完全不受外徑和內徑尺寸變化的影響。

普通螺紋中徑 d_2 的公稱位置在等邊三角形高的 $\frac{H}{2}$ 處。

普通螺紋中徑 d_2 的公稱尺寸與外徑 d 的公稱尺寸之間也有一定的關係：

$$\begin{aligned} d_2 &= d - 2 \times \left(\frac{H}{2} - \frac{H}{8} \right) = d - 2 \times \left(\frac{3}{8} H \right) \\ &= d - \frac{3}{4} H = d - \frac{3}{4} \times 0.866t = d - 0.6495t. \end{aligned}$$

對於單頭螺紋或奇數的多頭螺紋來說，在垂直於螺紋軸綫的方向量得的，兩牙型側面間的距离，就等於螺紋的中徑，見圖 1c。

11. 螺紋的公稱工作高度 h 內螺紋和外螺紋的接觸高度叫做螺紋的工作高度，普通螺紋的公稱工作高度 $h = H - \frac{H}{8} - \frac{H}{4} = \frac{5}{8} H = \frac{5}{8} \times 0.866t = 0.5413t$ 。

從上面所講的內容，我們可以知道，螺紋最基本的尺寸是外徑 d （即公稱直徑）和螺距 t ，其他參數的公稱尺寸都可以由 d 和 t 推導出來。

二 螺紋的互換性

假使從一批具有同樣公稱直徑和螺距的螺栓、螺母中，不經選擇，任意取出一個螺栓和一個螺母，也不用修配，這個螺母就能擰到螺栓上去（良好的可旋接性），並且接合可靠（足夠的連接強度），那末，這樣的螺紋制件就是具備了互換性。

從互換性的角度出發，我們來看螺紋上獨立的五個參數——

外徑、內徑、中徑、螺距和牙型角，對螺紋的互換性有什麼影響。

1 螺距偏差 對緊固螺紋來講，螺距誤差影響螺紋的旋接性和接合的可靠性；對傳動螺紋來講，螺距誤差還直接影響傳動精度，影響螺牙上負荷分布的均勻性。

螺距誤差包括局部誤差和累積誤差，前者與旋接長度無關，後者決定於旋接長度。從互換性觀點來看，在旋接長度範圍內的螺距累積誤差，對螺紋可旋接性的影響為大。

螺紋在旋接長度範圍內的螺距誤差，產生的原因可能是：

(一) 內螺紋的螺距正確，但外螺紋的螺距有偏差（無論是正偏差或負偏差）；

(二) 外螺紋的螺距正確，但內螺紋的螺距有偏差（無論是正偏差或負偏差）；

(三) 內、外螺紋的螺距偏差方向相反（誤差相加）；

(四) 內、外螺紋的螺距偏差方向相同，但數值大小不同（誤差相減）。

根據螺紋互換性和測量技術上的要求，我們應先考慮互相擰合的內、外螺紋之一具有理論尺寸的情況。現在假設內螺紋是理想的，而外螺紋螺距稍微大於內螺紋的，其餘參數都跟內螺紋相同（圖 2a），即：

$$\begin{aligned}d_2 &= d_{2.內} = d_{2.外}; \\ \frac{\alpha}{2} &= \frac{\alpha}{2_{內}} = \frac{\alpha}{2_{外}}; \\ t_{外} &> t_{內}.\end{aligned}$$

假定在旋入 n 個螺牙的長度上，螺距累積誤差 $\Delta(nt)$ 就是這個螺紋結合的最大螺距誤差，於是：

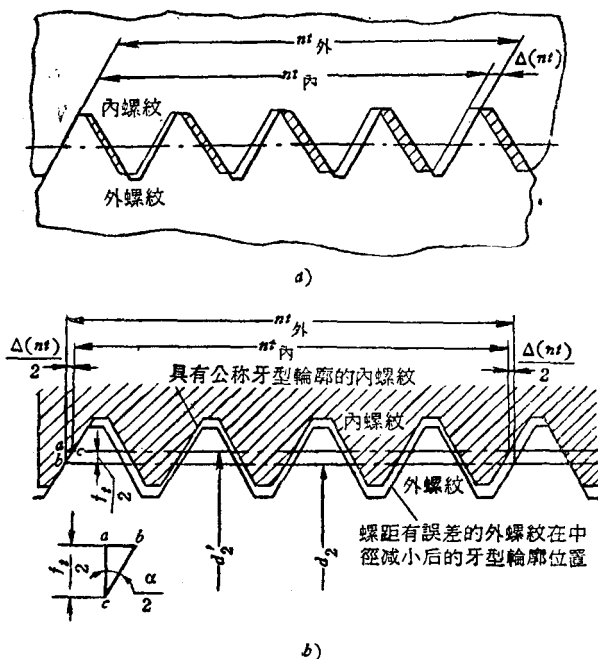


图2 螺距误差以及它的中径补偿值。

$$\Delta(nf) = |nt_n - nt_n|。$$

显然，在这种情况下，这一对内、外螺紋是无法旋接的，它們将产生干涉现象，如同图2a中画有阴影綫的部分那样。

但实际生产中，螺距误差总是不可避免的，为了使螺距稍有误差的外螺紋仍旧可以旋入标准的內螺紋，在制造的时候，应该把外螺紋中徑减小一个数值 f_e 。图2b表示外螺紋的实际中徑减小后与标准的內螺紋旋合在一起的情形。

同理，当內螺紋螺距有误差时，为了保证可旋接性，就应该把內螺紋的实际中徑加大 f_i 。

f_s 叫做螺距误差的中径补偿值, 从图 2b 中知道:

$$f_s = d'_2 - d_2;$$

并且从三角形 abc 中可以看出,

$$\frac{f_s}{2} = \frac{\Delta(nt)}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2},$$

或者,

$$f_s = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \Delta(nt). \quad (1)$$

对于牙型角 $\alpha = 60^\circ$ 的普通螺纹,

$$f_s = 1.732 \Delta(nt). \quad (2)$$

对于牙型角 $\alpha = 30^\circ$ 的梯形螺纹,

$$f_s = 3.732 \Delta(nt). \quad (3)$$

在这里, f_s 和 $\Delta(nt)$ 的计量单位都是微米, 并且计算结果要取绝对值。

2 牙型半角偏差 牙型半角偏差是由于整个牙型角有误差(两个半角相等时), 或者牙型角的平分线不垂直于螺纹轴心线而发生的(如图 3 所示), 也可能是这两个因素共同发生的。

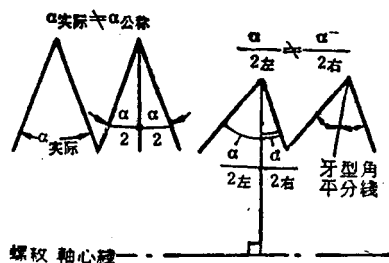


图 3 牙型半角偏差。

对紧固螺纹来讲, 牙型半角偏差影响螺纹的旋接性和螺纹接触的均匀性; 对传动螺纹来讲, 牙型半角偏差还影响到丝杠螺母的耐磨性。

内、外螺纹的牙型半角的误差, 可能由下列情况造成:

(一) 内螺纹的牙型半角正确, 但外螺纹的牙型半角有偏差(无论是正偏差或负偏差);

(二) 外螺纹的牙型半角正确, 但内螺纹的牙型半角有偏差(无论是正偏差或负偏差);

(三) 內、外螺紋的牙型半角偏差方向相反(誤差相加);

(四) 內、外螺紋的牙型半角偏差方向相同, 但数值大小不同(誤差相減)。

根据螺紋互換性和測量技術上的要求, 我們应先考虑互相摻合的內、外螺紋之一具有理論牙型的情況。現在假設內螺紋是理想的, 而外螺紋的牙型半角略大于內螺紋的, 其余参数都跟內螺紋相同 (图 4 a), 即:

$$d'_2 = d_{2.內} = d_{2.外};$$

$$t = t_{內} = t_{外};$$

$$\frac{\alpha}{2_{外}} > \frac{\alpha}{2_{內}},$$

令
$$\frac{\alpha}{2_{外}} - \frac{\alpha}{2_{內}} = \Delta \frac{\alpha}{2},$$

或
$$\frac{\alpha}{2_{外}} = \frac{\alpha}{2} + \Delta \frac{\alpha}{2}.$$

在图 4 a 中, 用实綫画的表示具有公称牙型的內螺紋, 用双点划綫画的表示牙型半角有了偏差 $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 的外螺紋, 由于 $\frac{\alpha}{2_{外}} = \frac{\alpha}{2} + \Delta \frac{\alpha}{2}$, 外螺紋不可能旋入內螺紋, 它們将会像图 4 a 中画有阴影綫部分那样的产生干涉現象。

为了使外螺紋能够旋入內螺紋, 就必须把外螺紋的实际中徑减小一个数值 f_a , 这时外螺紋将处于如图 4 a 中虛綫所画的牙型位置, 于是內、外螺紋才可以旋合在一起。

同理, 当內螺紋牙型半角有偏差时, 为了保証可旋接性, 就应该把內螺紋的实际中徑加大 f_a 。

f_a 叫做牙型半角偏差的中徑补偿值, 在图 4 a 中, d'_2 表示內螺紋的中徑, 也是外螺紋原来的实际中徑; d_2 表示实际中徑减小后的外螺紋中徑, 于是:

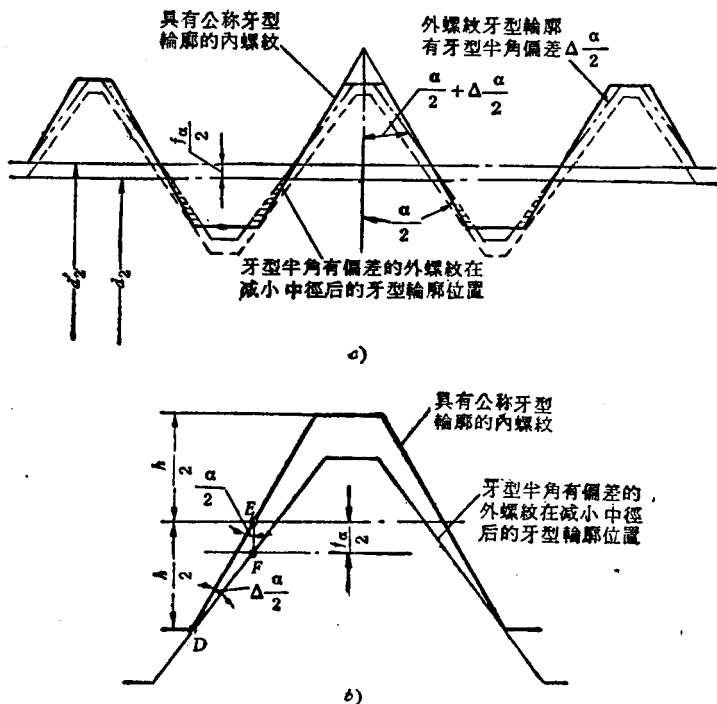


图 4 牙型半角误差以及它的中径补偿值。

$$f_{\alpha} = d'_2 - d_{2\alpha}$$

并且从图 4 b 的三角形 DEF 中，按正弦定律得出：

$$\frac{EF}{\sin \Delta \frac{\alpha}{2}} = \frac{ED}{\sin \left[180^\circ - \left(\frac{\alpha}{2} + \Delta \frac{\alpha}{2} \right) \right]}$$

由于 $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 值很小，可使：

$$\sin \Delta \frac{\alpha}{2} \approx \Delta \frac{\alpha}{2},$$

$$\sin\left[180^\circ - \left(\frac{\alpha}{2} + \Delta \frac{\alpha}{2}\right)\right] \approx \sin\left[180^\circ - \frac{\alpha}{2}\right] = \sin \frac{\alpha}{2},$$

所以上式便簡化為：

$$\frac{EF}{\Delta \frac{\alpha}{2}} = \frac{ED}{\sin \frac{\alpha}{2}},$$

式中 $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 以弧度計。

在三角形 DEF 中, $EF = \frac{f_a}{2}$; $ED = \frac{\frac{h}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$ 。代入上式, 得到

$$\frac{f_a}{2\Delta \frac{\alpha}{2}} = \frac{h}{2\sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{h}{\sin \alpha},$$

$$\therefore f_a = \frac{2h\Delta \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha},$$

式中 $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 以弧度計, 而 h 和 f_a 以毫米計。

如果把 $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 的弧度折合成角度分 ($1' = \frac{2\pi}{360 \times 60}$ 弧度), 把毫米化成微米 ($1\text{mm} = 1000\mu$), 那末

$$f_a = \frac{2h\Delta \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha} \times \frac{2\pi}{360 \times 60} \times 1000 \approx \frac{0.582h}{\sin \alpha} \Delta \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

式中 h 以毫米計, $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 以分計, 計算的結果 f_a 以微米計。

對於牙型角 $\alpha = 60^\circ$ 的普通螺紋, 因為 $h = 0.5413t$,

$$f_a \approx 0.36t \Delta \frac{\alpha}{2}. \quad (5)$$

對於牙型角 $\alpha = 30^\circ$ 的梯形螺紋, 因為 $h = 0.5t$ (見第 34 頁),

$$f_a = 0.582t \Delta \frac{\alpha}{2}. \quad (6)$$

式中 α 的单位是毫米, $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 的单位是分, f_a 的单位是微米, 并且計算結果要取絕對值。

值得注意的是: 螺紋左右牙型半角的偏差, 正負、大小、往往都不相等, 所以公式(4)、(5)、(6)中的 $\Delta \frac{\alpha}{2}$ 数值, 应该用左侧和右侧牙形半角偏差绝对值的算术平均数来计算, 即

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left| \Delta \frac{\alpha}{2_{左}} \right| + \left| \Delta \frac{\alpha}{2_{右}} \right|}{2}。$$

3 实际中徑偏差 跟光滑圆柱形工件的尺寸与误差的关系相似, 螺紋实际中徑偏差 f_d 的大小跟螺紋中徑的三次根成正比, 即 $f_d = K \sqrt[3]{d_2}$, 式中 K 是一个系数。

实际中徑偏差直接影响到螺紋結合的靜力强度。当互相旋接的內、外螺紋之間, 中徑有了間隙, 便降低了螺紋結合的强度, 減小了剪切面积, 并且使螺牙的弯曲增加(图5)。

正因为螺紋的接触面主要是在螺紋側腰上, 而影响側腰面上配合性质的主要是螺紋中徑的尺寸, 所以中徑是螺紋所有参数中最重要的一项。

4 作用中徑 在讲螺紋的作用中徑以前, 我們先举个光滑圆柱形工件的例子, 來說明什么叫作用直径? 像图6中, 軸和孔在各个

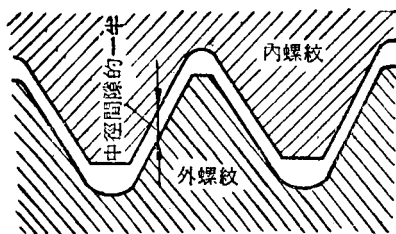


图5 螺紋結合的中徑間隙。

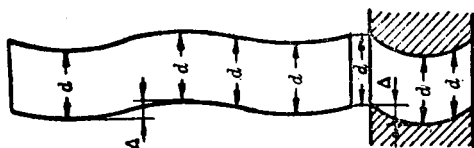


图6 作用直径的意义。

横剖面上的直径都是相同的，但轴和孔都有几何形状偏差，最大的形状偏差是 Δ 。很明显，在这种情况下，轴是无法自由地装进孔里的。

对于轴来讲，轴有了形状偏差，就相当于轴的尺寸有所增加，加大的尺寸就是轴的作用直径 D ， $D = d + \Delta$ 。

如果孔有了形状偏差，就相当于孔的尺寸有所减小，减小了的尺寸就是孔的作用直径 D' ， $D' = d' - \Delta$ 。

同样的道理，螺纹的作用中径也是受到螺距偏差和牙型半角偏差的影响的。外螺纹的作用中径 D_2 ，等于实际中径的实际尺寸 d_2 、螺距偏差的中径补偿值 f_t 与牙型半角偏差的中径补偿值 f_a 之和：

$$D_2 = d_2 + (f_t + f_a) \quad (7)$$

内螺纹的作用中径 D'_2 等于：

$$D'_2 = d'_2 - (f_t + f_a) \quad (8)$$

如果没有螺距偏差和牙型半角偏差，给定的螺纹工件与螺纹量规旋合时感觉不出间隙或过盈时，那末螺纹的作用中径数值上就等于螺纹量规的中径。

下面我们举个数字例子：在工具显微镜上测量一个公称外径为24毫米、螺距为3毫米的螺栓，量得实际中径 $d_2 = 21.9$ 毫米， $\Delta(n\tau) = -40$ 微米， $\Delta \frac{\alpha}{2_E} = -70'$ 和 $\Delta \frac{\alpha}{2_{\Phi}} = -30'$ ，求这个螺纹的作用中径。

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left| \Delta \frac{\alpha}{2_E} \right| + \left| \Delta \frac{\alpha}{2_{\Phi}} \right|}{2} = \frac{70 + 30}{2} = 50';$$

$$f_a = 0.36 \Delta \frac{\alpha}{2} = 0.36 \times 3 \times 50 = 54 \text{ 微米} = 0.054 \text{ 毫米};$$

$$f_t = 1.732 \Delta(n\tau) = 1.732 \times |-40| = 69 \text{ 微米} = 0.069 \text{ 毫米};$$

$$D_2 = d_2 + (f_1 + f_a) = 21.9 + 0.069 + 0.054 = 22.023 \text{ 毫米。}$$

在单独计算螺栓螺纹的作用中径的时候，对于螺距偏差和牙型半角偏差的中径补偿值 f_1 和 f_a ，要取正号〔按公式(7)〕；而在单独计算螺母螺纹的作用中径时， f_1 和 f_a 要取负号〔按公式(8)〕。必须注意：算式里的 $\Delta(n\epsilon)$ 和 $\Delta\frac{\alpha}{2}$ ，无论如何都要取绝对值。

如果螺栓螺纹的中径 d_2 最大，而螺母螺纹的中径 d_2 最小，那末只在没有螺距偏差和牙型半角偏差时 [$\Delta(n\epsilon) = 0$, $\Delta\frac{\alpha}{2} = 0$]，才能旋合。假使 $\Delta(n\epsilon) = 0$, $\Delta\frac{\alpha}{2} = 0$ ，螺栓和螺母的旋接部分，螺栓螺纹具有最小中径，而螺母螺纹具有最大中径，则结合中可以感觉得出的间隙，这个间隙等于螺栓和螺母的中径公差之和。

当螺栓、螺母两者都有螺距偏差和牙型半角偏差时，结合中感觉得出的间隙，要看这些偏差的大小和符号而定。

例如，对公称外径为 24 毫米、螺距为 3 毫米的普通螺纹进行测量以后，得出：螺母螺纹 $d'_2 = 22.200$ 毫米， $\Delta(n\epsilon) = -50$ 微米， $\Delta\frac{\alpha}{2_H} = -30'$ ， $\Delta\frac{\alpha}{2_h} = +70'$ ；螺栓螺纹 $d_2 = 21.900$ 毫米， $\Delta(n\epsilon) = -20$ 微米（在旋接长度范围内的螺距累积误差）， $\Delta\frac{\alpha}{2_H} = +70'$ ， $\Delta\frac{\alpha}{2_h} = -30'$ 。

原来的中径差 $d'_2 - d_2 = 22.2 - 21.9 = 0.3$ 毫米 = 300 微米。

结合中的螺距差 $\Delta(n\epsilon_{\text{结合}}) = -50 - (-20) = -30$ 微米。

结合中的牙型半角差 $\Delta\frac{\alpha}{2_{\text{左·结合}}} = -30 - (+70) = -100'$ ，

$$\Delta\frac{\alpha}{2_{\text{右·结合}}} = +70 - (-30) = 100'$$

$$\Delta\frac{\alpha}{2_{\text{结合}}} = \frac{\left| \Delta\frac{\alpha}{2_{\text{左·结合}}} \right| + \left| \Delta\frac{\alpha}{2_{\text{右·结合}}} \right|}{2} = \frac{100 + 100}{2} = 100'。$$